

Julio 2022
Diciembre

e-ISSN 2389-9484







Revista Interdisciplinar de Estudios en
Ciencias Básicas e Ingenierías.

Volumen 9 | Número 2



Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 9, n.º 2, e7461726, 2022.
http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías
ISSN 2389-9484
Año 2022, julio-diciembre, Vol. 9, N.º 2, e7461726
Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas y *Facultad Ingeniería*. Universidad de La Guajira
La Guajira, Riohacha, Colombia
http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei
Este documento fue depositado en Zenodo. DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.7461726

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: SOLUCIÓN ENERGÉTICA EN LAS COMUNIDADES AISLADAS

Photovoltaic systems: energy solution in isolated communities

Freddy de la Cruz Cabrales Avila
https://orcid.org/0000-0002-3018-3093.
fcabrales@uniguajira.edu.co
Ingeniero Civil. Universidad de La Guajira. Colombia.

Ronaldo Andrés Mejía Otero
https://orcid.org/0000-0002-9931-408X
ramejia@uniguajira.edu.co
Ingeniero Civil. Universidad de La Guajira. Colombia.

RESUMEN

El presente artículo de revisión bibliográfica tiene como objetivo proponer una solución energética a partir del potencial solar para aquellas comunidades y grupos poblacionales que no cuentan con el suministro de energía eléctrica, bien sea por estar en zonas aisladas de difícil acceso o simplemente por falta de cobertura del sistema. La demanda energética se ha convertido en una necesidad para el desarrollo y buena calidad de vida de las personas, sin embargo, los sistemas eléctricos deben hacen frente a los impactos provocados por la contaminación y la huella de carbono que dejan, por ello resulta imperante la necesidad de generar energía eléctrica por fuentes no convencionales. La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía alternativa de gran potencial en cuanto a su aprovechamiento por las características, geográficas, ambientales y climatológicas del territorio Colombino. A lo largo de la historia la implementación y evolución en las tecnologías de paneles solares han tenido una relévate participación a nivel mundial frente a la producción de energía limpia y agradable con el medio ambiente a partir de su instalación.

Palabras clave: sistema fotovoltaico; zonas no interconectadas (ZNI); radiación solar; comunidad aislada; políticas energéticas.

ABSTRACT

This bibliographic review article aims to propose an energy solution based on solar potential for those communities and population groups that do not have electricity supply, either because they are in isolated areas of difficult access or simply due to lack of coverage. of the system. The energy demand has become a necessity for the development and good quality of life of the people, however, the electrical systems must face the impacts caused by pollution and the carbon footprint they leave, for this reason the need to generate electricity from non-conventional sources. Photovoltaic solar energy is an alternative energy source with great potential in terms of its use due to the geographical, environmental and climatic characteristics of the Colombian territory. Throughout history, the implementation and evolution of solar panel technologies have had a significant worldwide participation in the production of clean and environmentally friendly energy from its installation.

Keywords: photovoltaic system; non-interconnected zones (ZNI); solar radiation; isolated community; energy policies.

Recibido: 11 de agosto de 2022
Aceptado: 28 de octubre de 2022



Introducción

El crecimiento económico y poblacional, los avances tecnológicos y los nuevos estándares de vida en la sociedad actual, han generado un incremento en la demanda energética mundial (Ministerio de Minas y Energía, 2021), paralelo a este hecho, las fuentes de energía convencionales se agotan al mismo tiempo que deterioran el planeta; es por ello, que la humanidad se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas para satisfacer la demanda energética, siendo la energía solar fotovoltaica, dentro de las energías renovable, la fuente no convencional que más se ajusta a los requerimientos actuales (Fuentes, 2020).

Estas últimas son obtenidas a partir de los recursos naturales, con la particularidad de presentar porcentajes relativamente bajos de contaminación al medioambiente, además de ser fuentes inagotables, es decir, se encuentran en grandes cantidades y con facilidad en cualquier lugar del planeta. Por lo tanto, estas características permiten que se puedan aprovechar de manera industrial mediante aplicaciones tecnológicas como la transformación de la radiación solar en energía eléctrica mediante la excitación electrónica de una celda de silicio.

En ese orden de ideas, la energía solar fotovoltaica como fuente alternativa, se define como la conversión directa de la radiación solar en electricidad, siendo posible gracias a unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos, los cuales realizan la transformación de la energía mediante un proceso en el que la radiación solar excita los electrones de un material semiconductor, generando una pequeña diferencia de potencial útil; la cual, mediante conexiones en serie de estos dispositivos se pueden obtener fluctuaciones de voltaje mayores.

En concordancia la energía solar fotovoltaica por ser esta una tecnología que aprovecha una fuente relativamente inagotable como el sol, logra de esta manera explotar este potencial energético en cualquier parte del planeta, representado una de las principales áreas de aplicación a nivel mundial del concepto de energía limpia llegando a lugares aislados en los cuales la red eléctrica tradicional no tiene acceso, estos sitios son conocidos como las Zonas No Interconectadas (ZNI), definidas en el Artículo 1° de la LEY 855 de 2003; generalmente son los municipios, resguardo indígenas, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica es asequible para cualquier persona, además existen programas que promueven la utilización e implementación de la generación de este tipo de energía; otro aspecto importante es que no genera ningún tipo de gas ni contaminante a la atmósfera. Adicionalmente, la energía solar se puede aplicar en cualquier parte del mundo dependiendo de la localización se determina la radiación y la intensidad horaria de la luz del sol, alcanzando así lugares, sectores y zonas aisladas, logrando generar energía eléctrica para dichas ubicaciones. Cabe resaltar que su mantenimiento es sumamente fácil y económico, debido que los paneles tienen alrededor de 25 a 30 años de vida (Ruiz, 2021). Por otro lado, los paneles solares pueden ser instalados sobre la cubierta de la vivienda lo cual no abarca mucho espacio útil.

Sobre el aprovechamiento, beneficios e inversiones en proyectos de energía solar en Colombia, Gomez, Murcia & Rojas (2018) mencionan que los departamentos en los cuales se ha invertido más en esta tecnología son Amazonas, Nariño, Arauca, Putumayo, Vichada y Chocó destacando La Guajira con una inversión de más de $2.000.000.000 millones de pesos, lo cual beneficia a 2.496 personas; a su vez este último departamento presenta el mayor potencial promedio del país oscilando entre 5,0 y 6,0 kWh/m2. Sin embargo, esta fuente de generación no ha tenido un auge en todo el país debido al alto costo de inversión inicial que representa.

Así mismo, Jean & Junior (2020) propusieron hacer viables programas de asistencia social del gobierno haitiano llamado "Banm lavi, banm limyè" (Dame vida, dame electricidad), con la finalidad de hacer que la electricidad esté disponible para las comunidades remotas y económicamente vulnerables, proporcionando el desarrollo social y económico de la región.

Por otra parte, el Parque fotovoltaico de Nazareth, proyecto de energía solar localizado en la Alta Guajira el cual beneficia a 244 familias del corregimiento de Nazareth y 146 en Puerto Estrella, con una inversión destinada por parte del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) de aproximadamente $ 7.000 millones de pesos; cuenta con 1.752 paneles, alcanzando una capacidad de 442,56 kWp. Además, según el IPSE este proyecto beneficiará a la atmósfera, evitando la emisión de 452,1 Ton de CO2 al año (Hoz, 2021).

En cuanto a la recolección, sistematización y organización de la información para el documento, inicialmente se escogió el título del artículo, se fijaron las metas y objetivos a lograr con este trabajo. Posteriormente, se realizó un esquema con el contenido de este usando las ideas relacionadas con la temática abordada; así mismo, se escogieron una serie de palabras clave con las cuales se realizó una búsqueda minuciosa en libros, tesis, trabajos de grado, artículos de revistas y demás documentos relacionados con los tópicos a desarrollar. Esta búsqueda se realizó en páginas y bases de datos web como Google Académico, Latindex, Redib entre otras, encontrando 95 documentos de los cuales se escogieron 69 por su relación y relevancia con el tema escogido para finalmente estructurar y fundamentar el cuerpo de este artículo.

En este orden de ideas, el propósito del presente artículo de revisión trata analizar aquellas experiencias en sistemas fotovoltaicos como una solución energética para todas aquellas comunidades que se encuentren aisladas, es decir, por fuera de la cobertura de la red eléctrica de Colombia mejor conocidas como ZNI, teniendo como referencia literaturas e investigaciones relevante para este artículo.

Por tal razón, el trabajo de revisión bibliográfica resume y resalta la documentación existente sobre sistemas fotovoltaicos, referente al abastecimiento de aquellas viviendas o comunidades que no cuentan con un servicio de fluido eléctrico por encontrarse fuera del casco urbano o en zonas rurales aisladas, es decir, de difícil acceso para la red eléctrica nacional. Es por eso, que implementando un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos (los cuales son totalmente limpios y amigable con el medio ambiente) se pretende satisfacer la necesidad energética. Cabe resaltar, que está solución energética se destaca frente a las demás fuentes renovables al poder adaptarse a cualquier demanda energética particular, su fácil colocación en el sitio, además que desde su puesta en marcha no se necesita algún conocimiento especial para su operación, con una buena explicación cualquier persona será capaz de manipularlos.

Materiales y métodos

1.1. Generalidades de la energía solar fotovoltaica

El efecto fotovoltaico resulta de la generación de una corriente eléctrica producida por el contacto de dos partes que no están hechas del mismo material y que a su vez se encuentran expuestas a la luz o en general, a una radiación electromagnética (AutoSolar, 2020). Este efecto fue descubierto en 1838 por el físico francés Alexandre Edmond Bequerel al experimentar con una pila electrolítica con electrodos de platino, en el que observó un aumento de corriente debido a la exposición a la luz de uno de los electrodos. Posteriormente en 1877, el inglés William Grylls Adams, profesor de filosofía natural en el King College de

Londres, con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera celda fotovoltaica de selenio (La energia que nos une, 2020).

Refiriéndose a la energía solar fotovoltaica, tiene como objetivo convertir la radiación solar directa en energía eléctrica, esta transformación de energía es lo que se conoce como efecto fotoeléctrico, que por medio de semiconductores sensibles a la luz, es decir, celdas fotovoltaicas, se puede formar una pequeña diferencia de potencial efectuando el voltaje, la conexión en serie o serie-paralelo de estos dispositivos permite la obtención de módulos fotovoltaicos con diferentes valores de voltaje, corriente y potencia (Oña & Lugma, 2020). O bien sea la energía solar fotovoltaica una fuente de energía que produce electricidad de tipo renovable obtenida directamente a raíz de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor llamado como célula fotovoltaica o mediante una deposición de metales sobre un sustrato conocida como célula solar de película fina (Avila, 2017).

Los sistemas FV se pueden instalar conectados a la red eléctrica local (ON-Grid) los depende del cableado eléctrico público en las horas que no hay radiación solar o altas demandas de consumo energético. También existen sistemas aislados completamente de la red local (Off-Grid) los cuales dependen 100% de la producción energética propia del sistema fotovoltaico (Zamora, 2020). Son estos últimos en los que el presente artículo se enfoca debió a que estos estarían instalados en comunidades aisladas de la red eléctrica nacional.

En este orden de ideas, se entiende por instalación fotovoltaica Off-Grid, como un sistema que no está conectada a la red eléctrica, donde toda la energía que se consume es producida por los paneles solares, aunque en algunos casos, también puede incorporar otras fuentes alternativas como un generador eólico, o un generador eléctrico diésel o de gasolina. Son por lo general, instalaciones de menor tamaño y se dimensionan de forma precisa para abastecer la demanda existente (HelioEsfera, 2017). Principalmente estos sistemas son instalados en viviendas unifamiliares aisladas en zonas rurales, instalaciones agrícolas que demandan la puesta en marcha aparatos eléctricos, como bombas hidráulicas entre otros, para todos aquellos casos en los que sea necesario el uso de electricidad en zonas aisladas no urbanizadas (Rsolar, 2020). Son instalados en zonas rurales como fuente de abastecimiento eléctrico ya que en términos de costos y posibilidad se convierten en la opción más viable para la energización eléctrica. En la imagen 1 se muestra el esquema de este tipo de sistema.

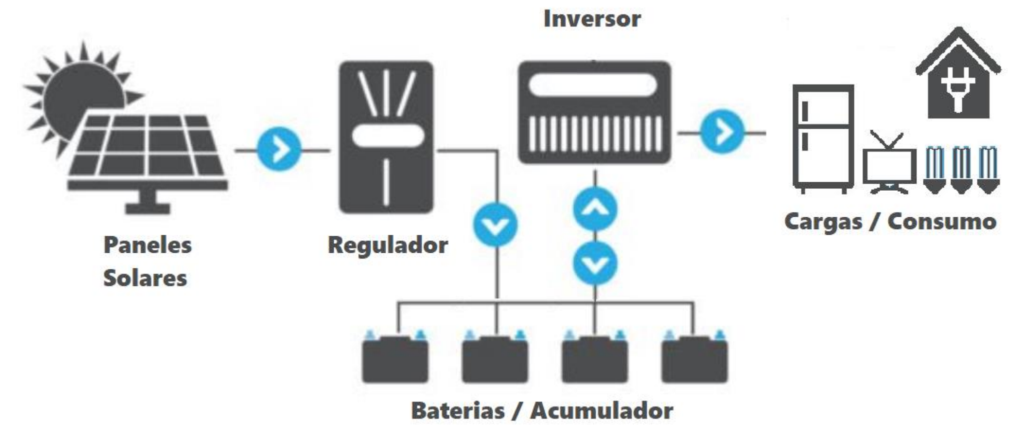


Imagen 1. Esquema sistema fotovoltaico aislado

Fuente: (Rsolar, 2020)

Ahora bien, se definen las partes y componentes del sistema fotovoltaico asilado según (SOLICLIMA, 2019) como:

- Placas solares: Las placas o módulos solares fotovoltaicos usan ciertos materiales semiconductores, como el silicio, que absorben los fotones y los convierten en una corriente continúa de electrones, es decir, en electricidad. Esta electricidad se recoge mediante unos hilos metálicos que al final la conducen hacia el regulador.
- Regulador de carga: Controla la entrada de electricidad en la batería y la protege de sobrecargas o bajadas de tensión que podrían dañarla. Los modelos avanzados ponen en marcha el grupo electrógeno para producir electricidad cuando la batería corre riesgos.
- Baterías o acumulador: Es el dispositivo que almacena la energía que se produce por el generador. Con el acumulador se puede disponer de electricidad en horas que no hay luz o en los días nublados.
- Inversor: Sirve para convertir la corriente continua producida por el campo fotovoltaico en corriente alterna de onda sinusoidal, que es la única que se puede usar en la alimentación de electrodomésticos convencionales. Con él, se suele poner en marcha el grupo electrógeno.
- Consumo: conjuntos de aparatos y electrodomésticos a los cuales se le suministra la energía.

Por su porte, los diferentes módulos fotovoltaicos tienen una potencia nominal, la cual se conoce como Vatio Pico (Wp); esta corresponde a la potencia máxima que puede generar el módulo, con una irradiación de 1 kW/m2 a 25°C de temperatura. Esto significa que la producción de corriente eléctrica en estos sistemas a un voltaje dado (fijó para el panel) variará con la temperatura, por lo cual cada fabricante entrega una especificación del panel en forma de curvas de potencia (Planas, 2020).

1.2. Tipos de paneles FV

Actualmente se pueden encontrar distintos tipos de celdas fotovoltaicas, en función de su composición y naturaleza. A continuación, se mostrará una distinción entre las celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino y policristalino según información recolectada por empresas fabricantes de estas celdas (ATERSA, 2019).

Las celdas fotovoltaicas de *silicio monocristalino* tienen un coste económico elevado con respecto a otro tipo de celdas fotovoltaicas y por ello su uso suele ser menos habitual; estas tienen un aumento en su rendimiento por presentar una mayor relación Wp/m^2. Por su parte las celdas fotovoltaicas de *silicio policristalino* cuentan con un buen rendimiento, aunque ligeramente más bajo que el de las celdas de silicio monocristalino, sobre todo en condiciones de iluminación baja. No obstante, este tipo de celdas son más económicas que las anteriores y su eficiencia de conversión sigue siendo buena, gracias a los múltiples avances que ha tenido este tipo de célula en los últimos años.

Tal y como se mencionó anteriormente, el silicio tanto en su forma monocristalina como policristalina son los más utilizados en la fabricación industrial de células fotovoltaicas. Sin embargo, según información obtenida por la empresa ATERSA (2019), existen otros materiales como, por ejemplo:

Arseniuro de Galio (GaAs): este material es otro que actúa como semiconductor el cual se utiliza para la fabricación de celdas fotovoltaica (FV), celdas con una gran eficiencia energética. En relación a este material, cabe señalar que ya existen investigaciones que han determinado que son capaces de alcanzar un 25% de eficiencia.

Así mismo, se encuentra el Silicio Amorfo (a-Si): esta estructura no es cristalina. Actualmente, este material constituye más del 10% de la producción internacional porque también se ha demostrado que es muy eficiente, logrando alcanzar el 10% de eficiencia. De igual modo, el Telururo de Cadmio (CdTe): es un material policristalino que ha llegado a alcanzar el 16% de eficiencia, unas cifras que no dejan indiferente a ningún laboratorio.

Finalmente, se destaca el Diseleniuro de Cobre Indio (CuInSe2, o CIS): este otro material policristalino capaz de alcanzar un porcentaje de alta eficiencia, alrededor del 20%. Teniendo en cuenta a otros materiales, este proporciona una gran eficiencia además de ser flexibles, sin embargo, su uso es limitado porque es complicado de fabricar, al implementar elementos químicos raros y controvertidos como el cadmio, el cual se sabe que causa cáncer.

1.3. Tecnología de los sistemas SF

Actualmente gran parte de todas las investigaciones se centran en la eficiencia de los paneles FV ya que se hace importante desarrollar tecnologías para obtener un mejor aprovechamiento de la radiación incidente sobre la superficie de los paneles, reduciendo costos y aumentando la producción de electricidad. Sumado a lo anterior, Cabe mencionar de manera general una recopilación de conceptos sobre tecnología solar correspondiente a energía fotovoltaica. Bajo este orden de ideas Se relata de tres generaciones: células de silicio, las cuales presentan una alta eficiencia y altos costos; tecnología de película fina, que permite reducir costos, así como también presentar menores eficiencias y tecnología conceptual caracterizándose por una alta eficiencia en estudios con menor costo. (Ruiz C. E., 2020)

Así mismo, dentro de las técnicas de optimización se encuentra tecnologías en las que se amplía el rango espectral que puede absorber la célula, entre las que se encuentran las células multi-unión, células con puntos cuánticos y células con bandas intermedias; reducir las pérdidas por termalización, estas se implementan mediante las células hot-ca-rriers y varios pares electrón-hueco por fotón, ajustando el espectro solar al material receptor en lo que se denomina como células termo-fotovoltaicas y termo-fotónicas (con-versión up / down) través de capas superpuestas al módulo FV. Otro tipo de tecnología consiste en aumentar la cantidad de luz incidente. Por consiguiente, al momento de diseñar un modelo teórico de integración tecnológica para sistemas FV, se deben tener en cuenta temas referentes a ciencia de materiales (Venneri & Borgia, 2019), modelos de hardware reconfigurable (Sandoval, 2019) y control de convertidores solares reconfigurables (RSC) para fotovoltaica (Ruiz C. E., 2020)

1.4. Zonas no interconectadas en Colombia

Para entender que son las Zonas No Interconectadas (ZNI) en Colombia se debe ahondar primeramente en el sistema eléctrico Nacional. En este orden de ideas, El Sistema Interconectado Nacional (SIN) es la serie de líneas y subestaciones integrados con las conexiones internacionales y equipos, con la funcionalidad de transportar la energía eléctrica desde sus puntos de generación, regulación y distribución para en última instancia ser entregado al usuario final. Dicho módulo lo conforma el Sistema de Transporte Nacional (STN) de transmisión de energía eléctrica correspondientes a las líneas y unidades igual o mayor a los 220 kV de tensión, en conjunto con el Sistema de Transmisión Regional (STR) estructurado por las líneas y subestaciones con sus equipos que operan con tensiones por debajo de los 220 kV y con la particularidad de no ser parte a un sistema de distribución local (Sumando Energia, 2019). Del mismo modo, el marco normativo colombiano define el SIN en la LEY 143 DE 1994 como "El sistema compuesto por los siguientes

elementos conectados entre sí: las plantas y los equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios".

De acuerdo con el mapa del sistema de transmisión nacional (actual) de la república colombiana, emitido por la UPME (2019), el SIN abarca aproximadamente un 34% del territorio nacional. En este, habitan el 96% de la población del país, con una cobertura de 95,54%, con una cobertura a nivel urbano de 99,35% y a nivel rural de 83,39%. Basado en lo estipulado en el informe sobre la consultoría realizada por el Banco Interamericano de Desarrollo en la cual busca métodos y proyectos de mejora para ZNI (Region central, 2020)

Mientras que las ZNI se entiende como los lugares que carecen del servicio energético público de electricidad, es decir, las zonas por fuera del SIN. Estos son caracterizados por contar particularmente con escasa densidad poblacional, estar situados distantes a los ejes urbanos y problemas en el acceso, provocando así dificultad en cuanto a la integración de estos sitios a la red nacional, puesto que demandará un elevado costo operacional, por ello tienden a optar por la prestación del servicio a través de la cogeneración, ya que cuentan con riquezas y abundantes recursos naturales que se pueden generar por medio de las Fuentes No convencionales de Energía Renovable "FNCER" (Region central, 2020). De igual forma, el Ministerio de Minas y Energías en su marco normativo define a estos lugares como: "Para todos los efectos relacionados con la prestación del servicio público de energía eléctrica se entiende por ZNI a los municipios, corregimientos, localidades, y caseríos no interconectados al SIN – Sistema Interconectado Nacional" LEY 855 DE 2003.

La ZIN tiene la particularidad de contar en su mayoría con riqueza natural, étnica y cultural, muchas de ellas son territorio protegidas ya que abarcan resguardos indígenas y terrenos colectivos, donde se halla la mayor parte de la biodiversidad del país. También estas misma corresponden al 52% del territorio nacional, donde se asienta el 79% de la población de carácter rural del país. En este sentido las ZNI comprenden alrededor del 52% del territorio Nacional, incluyendo 17 departamentos, 5 ciudades capitales, 37 cabeceras municipales, 97 municipios y 1.728 localidades (ver imagen 2). (HG Ingenieria, 2018)

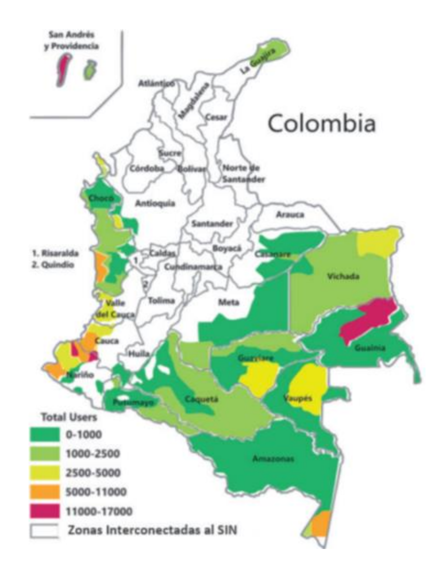


Imagen 2. Mapa zonas no interconectadas república de Colombia.

Fuente: Tomado de (Daniella & Leonardo, 2018)

1.5. Comunidades colombianas

Al refreírse a comunidades asiladas se hace énfasis a todos los grupos, conjunto, minorías, población de personas o bien sea habitantes localizados en el territorio nacional con la particularidad que algunas no cuentan con el servicio de energía eléctrica. En los que se encuentran la población indígena, población negra o afrocolombiana, población raizal, pueblo palenquero y pueblo rom (Gitano) todas y cada una de ellas contabilizadas y censadas (Minsalud, 2022)

- ❖ Según con el Censo Nacional de Población y vivienda, en Colombia había para 2018 en 105 pueblos indígenas 1´905.617 personas que se identifican como indígenas. La participación de este grupo poblacional en el total nacional es de 4,4%. La Guajira, Cauca, Nariño y Córdoba son los territorios en las que habitan el mayor número de indígenas, siendo más de la mitad del total de la población 58,4%. (Cesar, Mariana, & Alberto, 2020)
- ❖ En el Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV, hecho por el DANE en el año 2018 se registraron 2´982.224 de personas reconocidas como miembros de la población NARP. Esta cifra equivale al 5,9% de la población total del país para el año 2020. Los departamentos de Valle del Cauca, Chocó, Bolívar y Antioquia siendo el 54,2% cerca de la mitad de las personas con mayor población NARP en el territorio nacional. (Mariana, Alberto, & Cesar, 2020)
- ❖ La población raizal se encuentra ubicada en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, tienen raíces culturales afro-anglo-antillanas y sus integrantes tienen rasgos tanto socioculturales como lingüísticos visiblemente distintos del resto de la población afrocolombiana. Según el censo nacional de población y vivienda de DANE 2018, en Colombia habían 25.515 (0.05%) raizales. (Mariana, Alberto, & Cesar, 2020)
- ❖ Siendo la población palenquera radica en el municipio de San Basilio de Palenque, departamento de Bolívar, donde el lenguaje criollo es palenquero. A partir del censo nacional de población y vivienda de DANE 2018, en Colombia habían 6.637 (0,01%) palenqueros. (Mariana, Alberto, & Cesar, 2020)
- ❖ La población Rrom está integrada por "comunidades que tienen una identificación étnica y cultural propia. De acuerdo con el Censo Nacional de Población y vivienda, para 2018 en Colombia había 2.649 personas que se reconocen como Rrom 4 La participación de este grupo poblacional en el total nacional es de 0,006%. Distribuidos en Bogotá (22,8%), Santander (13,1%), Norte de Santander (9%) y Tolima (6,1%), son las entidades territoriales en las que se concentra la población Rrom. En estas, se concentran poco más de la mitad del total de la población (51%). (Alberto, Cesar, & Mariana, 2020)

1.6. Comunidades en las ZNI

Cabe resaltar que en estas ZNI habitan comunidades Indígenas distribuidas en más de 85 Pueblo por selva, bosques y paisajes andinos, valles bajos interandinos y planicie Caribe, sierra nevada de Santa Marta, península de La Guajira, Grandes ciudades entre otras. El (DANE, 2018) contabilizó 1'905.617 personas que representan el 4,4% de los habitantes del país, siendo los departamentos de La Guajira (20.7%) Cauca (16.2%) Córdoba (10.6%) Nariño (10.8%) conformando más de la mitad en concentración poblacional indígena, el restante se restante entre los departamentos de Vaupés, Meta, Guainía, Amazonas, Vichada, Putumayo, Chocó y San Andrés. Siendo el 10,6% de la población de Colombia pertenece a comunidades afrocolombianas habiendo 4'298.647 entre los departamentos del Chocó, Bolívar, Cauca y Valle y 960.012 en la ZNI repartidos en más de mil comunidades. Para Población ROM (Gitana) el DANE dictaminó que

está conformado por 4.857 y que 122 personas dentro de las ZNI en los departamentos del Arauca, Caquetá, Meta, Casanare y Nariño (IPSE , 2017).

Bajo el marco normativo Colombiano la Ley 1715 del 2014 a través del ministerio de minas y energía en conjunto con el regulador del mercado eléctrico, los cuales buscan principalmente regular la incorporación de las energías alternativas renovables al sistema energético nacional, convirtiéndose en un método incentivador para los agentes que deseen invertir en la generación energética a pequeña escala. La ley posibilita a todos los usuarios que generen más energía de la que lleguen a consumir, a poder vender sus excedentes a las entidades prestadoras del servicio eléctrico, adicionalmente estimula la inversión en activos de generación a pequeña escala, teniendo en cuenta que los activos que se obtengan para este uso puedan ser remplazados con mayor rapidez que los convencionales y aligerando cargas tributarias para la viabilidad financiera de este tipo de proyectos. Este escenario llama la atención a inversionistas del sector, no dejando de lado que las inversiones que se realicen tendrán un retorno más rápido (López & Gómez, 2021). También se resalta que esta ley reside en establecer el marco legal y los elementos para la promoción del uso de las fuentes no convencionales de energía, primordialmente aquellas de carácter renovable. Además, fomenta la investigación inversión y desarrollo de tecnologías limpias para la producción de electricidad, así como usos energéticos como el medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (Reyes & Blanco, 2018)

1.7. Potencial solar del país

En cuanto a la disponibilidad de la energía solar, se sabe que el país cuenta con un gran potencial de recurso solar gracias a su ubicación geográfica cercana a la línea ecuatorial, el cual cuenta con un promedio de irradiación solar de 4,5 kWh/m^2 por día, lo que le permite superar el promedio mundial de 4,0 kWh/m^2 por día, según los datos suministrados por el Banco Mundial, el cual ofrece en forma gratuita, datos detallados sobre los recursos a través de herramientas como el Atlas Mundial de la Energía Solar del Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía (ESMAP, 2017); (FISE, 2019).

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es la entidad oficial encargada, a nivel nacional, de hacer el seguimiento a la radiación solar y cuenta con la red más grande de estaciones y de mayor cobertura. Sin embargo, cabe anotar que, en el país, hay otras entidades que cuentan con redes más pequeñas y de carácter regional como gremios agrícolas (Cenicafe, Cenicaña, Fedearroz, entre otros), autoridades ambientales (Corporaciones autónomas regionales – CARs y departamentos administrativos del medio ambiente – DAMAs), centros de investigación y otras entidades como el IPSE (IDEAM, 2018).

Es válido afirmar entonces que el país cuenta con excelentes herramientas y datos recopilados para poder ubicar las zonas y/o regiones potenciales en las cuales se pueda implementar estrategias para soluciones energéticas mediante sistemas fotovoltaicos. se presenta la irradiación global horizontal media recibida en superficie, expresada en kWh/m^2 por día para Colombia, por medio del mapa de irradiación global horizontal medio diario anual elaborado por el IDEAM (ver imagen 3). De acuerdo a este mapa, en el país los valores de irradiación global horizontal media recibida en superficie oscilan, entre un máximo en el norte de la región Caribe, con valores entre 6,0 y 6,5 kWh/m^2 por día (entre 2.200 y 2.300 kWh/m^2 por año), hasta mínimos entre 3,0 y 3,5 kWh/m^2 por día (entre 1.100 y 1.280 kWh/m^2 por año), en sectores de la región Pacífica,

además el país puede contar con esta fuente de energía la mayoría de los días del año (FISE, 2019).

De igual forma es importante conocer las horas de radiación solar en las diferentes regiones del país, destacándose en este sentido el mapa realizado por el IDEAM correspondiente al brillo solar de la nación, el cual proporciona las horas de Sol efectivo en el día asociadas a los periodos de tiempo de radiación solar directa los cuales deben superan un valor mínimo de 120 W/m^2. En este sentido la duración de la insolación correspondiente a un período determinado se define como la suma de los subperíodos durante los cuales la irradiancia solar directa rebasa los 120 W/m^2 (Serna, 2014).

En dicho mapa se muestra que una mayor proporción del territorio nacional cuenta con amplios intervalos de brillo solar a lo largo del año, contando desde 4 hasta 12 horas de sol al día en promedio diario anual, los cuales son valores elevados en comparativa con otros países como Alemania la cual cuenta en promedio con 3 horas de brillo solar. Estos datos son importantes al momento de realizar una inversión en sistemas fotovoltaicos, así como al momento de buscar un mejor aprovechamiento de los mismos, gracias al mayor tiempo de exposición a la radiación solar en los paneles FV, logrando por consiguiente una mayor capacidad de generación de electricidad (Estrada & Valencia, 2015).

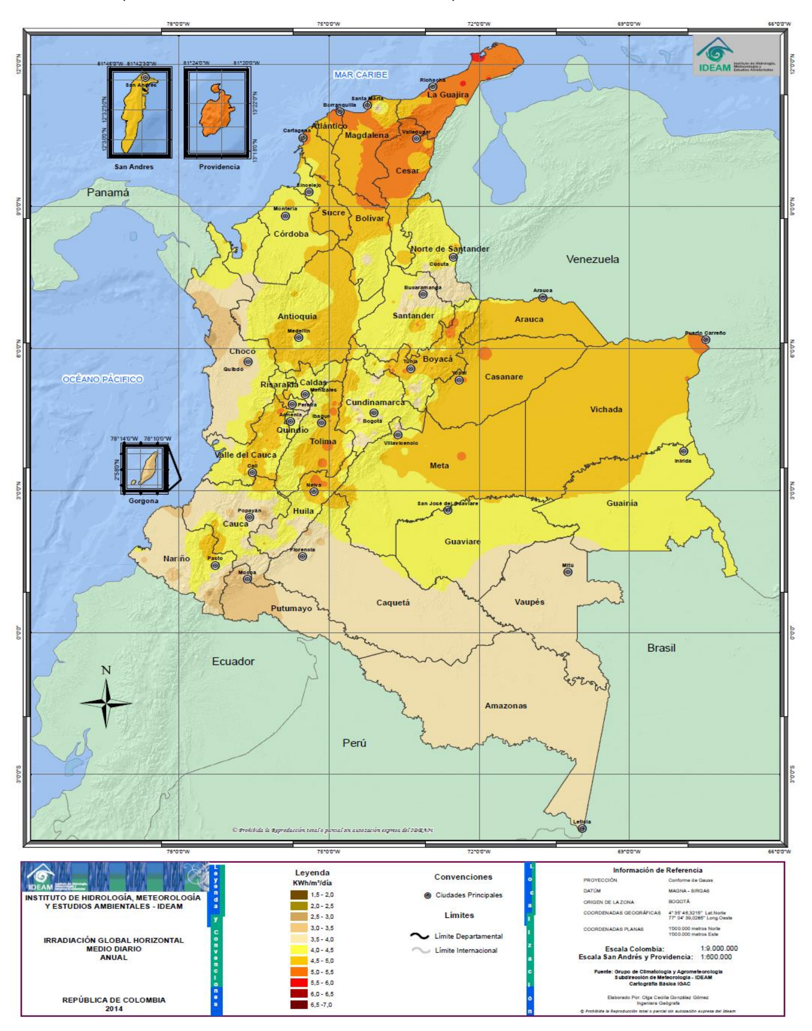


Imagen 3. Mapa y convenciones de radiación global horizontal medio diario anual, república de Colombia.

Fuente: IDEAM, 2018

1.8. Proyectos FV aplicados en Colombia.

En hábitos de aplicación en proyectos de sistema fotovoltaicos para comunidades aisladas, se destaca la India que cuenta con 300 millones de habitantes que no están conectados a la red de distribución eléctrica nacional, para lo cual en 2014 el gobierno de este país diseñó un modelo de innovación en alianza con entidades públicas y privadas (APP). Para la generación de electricidad, aplicando modelos de paneles solares para techos; con el cual actualmente esta nación cuenta con 1600 MW generados a partir de energía solar aprovechando la radiación solar incidente en las cubiertas de las casas (Energía solar, 2017).

Por su parte Reyes et al. (2018) realizo un estudio consistente a un diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para suplir de energía eléctrica a zonas aislada. Por medio de este estudio experimental se determinó que para una zona con un máximo de 5,56 y 5,57 horas de radiación solar con un ángulo de inclinación óptimo de 10°, para realizar el proyecto tendrá una producción anual de 228,012 kWh, donde el sistema estaría compuesto de una batería con capacidad de 160 Ah, utilizando 2 paneles en serie y 2 paneles en paralelo para una tensión de 24V. En cuanto a la evaluación económica se concluyó que la recuperación de la inversión para el sistema a 24 V se dará a partir de los 9 años. (Reyes & Blanco, 2018)

A nivel nacional en Colombia, el centro de innovación en energía solar para las celdas fotovoltaicas, tecnologías de concentración solar y seguidor solar, han generado proyectos piloto para el suministro de energía eléctrica en las ZNI, ejecutando un ejemplar en Uribia - La Guajira y el otro en Cartagena - Bolívar con el objetivo de analizar y evaluar otras tecnologías como la eólica; siendo estas dos localidades son puntos con altos potenciales de radiación y brillo solar. También en la localidad Puerto Estrella y Nazareth (La Alta Guajira) incorporaron 8 seguidores solares con 2 ejes cuya capacidad es de 12.5 kW utilizando panales solares con potencia de 220 W, cada módulo produce electricidad a tensión trifásica de 120/210 V la cual es suministrada a comunidades y grupos étnicos beneficiando a más de 1750 habitantes incluyendo centro de salud, internado y hospital. Así mismo(Gomez, 2017).

Por su parte, Camargo 2020 propone con el proyecto fotovoltaico localizado en el municipio de Hatonuevo en el departamento de La Guajira, el cual para la caracterización del potencial energético en la vereda adquirió los datos de radiación y brillo solar a partir del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en base a los datos obtenidos observo que el distrito cuenta con una radiación solar promedio de 5,86kWh/m2, un promedio de brillo solar 7,15 y una temperatura media anual de 28,3°C (Atlas Climatológico de Colombia, 2018), con esos análisis estimo y determino el consumo básico rural para una vivienda tipo habitada por 4 persona, la cual consiste en aparatos eléctricos comunes como bombillos, nevera, televisor, ventilador, puntos de carga y otros. Obteniendo así un consumo diario para el hogar de 6,29kWh/m2 y de 188,88 kWh/m2 partir de lo establecido por la UPME en el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura 2016-2020. (Ver tabla 1) Teniendo en cuenta el consumo mencionando determinó que el sistema necesita 4 paneles solares cuya potencia es de 340 W, 4 baterías a 48 V, un regulador con 69,75A corriente de entrada y 29,92A de salida, soportado con un Inversor con el 96% de eficiencia. El arreglo de paneles solares ocupa un área de 14m2 (CAMARGO, 2020)

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Total [COP]	Total [USD]
Panel solar 340 W	4	$ 405.000	$ 1.620.000	$ 470,83
Batería	4	$ 1.431.856	$ 5.727.424	$ 1.664,61
Regulador MPPT	1	$ 1.190.000	$ 1.190.000	$ 345,86
Inversor 800 W	1	$ 904.981	$ 904.981	$ 263,02
Electrificación, transporte e instalación			$ 5.000.000	$ 1.453,19
Total inversión USD				$ 4.197,52
Total inversión COP				$ 14.442.405

Tabla 1: Costo de aparatos del sistema

Fuente: Camargo, 2020

Así mismo, en Colombia en cuanto los parámetros económicos, la tasa de proyectos con energía renovables es del 9% la inflación se usó de 3% aunque la del 2020 haya sido cercana al 1,5% no es una cifra real y representativa del futuro (Bieler, 2021) y la vida útil del proyecto es la misma de los paneles solares, 25 años.

Por último, encontramos el proyecto propuesto por Velazco & Rojas (2021), el cual consiste en el diseño de un sistema fotovoltaico para la alimentación de la instalación eléctrica y el sistema de bombeo de agua de una vivienda en zona rural, dicho sistema se encuentra ubicado en Sesquilé, provincia de Almeidas, a 45 km al noreste de Bogotá, la cual presenta un nivel de radiación solar entre 4 y 5 kWh/m^2 día. Este proyecto busca satisfacer las necesidades energéticas de una vivienda rural tipo, incorporando 1 nevera, 1 lavadora, 19 bombillos 1 licuadora, 1 televisor, 1 plancha de ropa, 1 electrobomba y una carga adicional de 1kW para otros equipos, sumando de esta manera un consumo total de 4,8 kW de los cuales 550W se destinarán exclusivamente para el sistema de bombeo. Para el dimensionamiento del sistema se utilizó el nivel de radiación más bajo registrado en el año por el PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) el cual es de 3,23 kWh/m^2 día con una inclinación óptima de 7,18°. En este orden de ideas, el sistema está integrado para el consumo de la vivienda por 8 módulos REC da0082 con 240W de potencia conectados dos series de dichos paneles en paralelo, 1 Regulador SRNE MPPT 60A con una potencia de 3200 W, 1 inversor Monofásico de onda pura con eficiencia del 95% y 8 baterías Parts Mater 105 Ah a 12V montadas en un arreglo de 2 en paralelo X4 en serie, todo este sistema tiene un costo aproximado de $ 17,700,000 pesos y satisface un hogar entre 4 a 6 personas. (Velazco & Rojas, 2021)

1.9. Instituciones de apoyo financiero y técnico

En la tabla 2 se anuncian algunas instituciones y fondos de apoyo financiero y técnico dirigidos a los sectores de energía eléctrica de Colombia, se debe mencionar que casi la totalidad de estas entidades son financiadas por el Ministerio de Minas y Energía (MME) las cuales son vigiladas por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Esta última esta encargada de estudiar la viabilidad técnica y financiera, desarrollando y evaluando proyectos relacionados con la temática de energía eléctrica. El propósito de estas instituciones es desarrollar proyectos de carácter renovables, mejorar la capacidad instalada, ampliar la cobertura, disminuir la dependencia de generación de otras fuentes y mejorar el servicio de energía eléctrica del país. Estos servicios básicos son brindados a todos los colombianos, lo cual fomentan el desarrollo económico, social y cultura. (Rendón, 2020)

Tabla 2. Fondos e instituciones de apoyo financiero y técnico en Colombia.

Fuente: Autor, a partir de (SIEL, 2022)

INSTITUCIÓN	SIGLA
Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica	ACOLGEN
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	ANLA
Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales	ASIC
Centro Nacional de Despacho	CND
Consejo Nacional de Operación	CNO
Comisión de Regulación de Energía y Gas	CREG
Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas	FAER
Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas	FAZNI
Financiera de Desarrollo Territorial S.A.	FINDETER
Fuentes no Convencionales de Energía	FNCE
Instituto Colombiano de Energía Eléctrica	ICEL
Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales de Colombia	IDEAM
Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas	IPSE
Liquidador y Administrador de Cuentas	LAC
Ministerio de Minas y Energía	MME
Programa de Normalización de Redes Eléctricas	PRONE
Sistema de Gestión de Información y Conocimiento en Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en Colombia	SGI&C - FNCER
Sistema General de Regalías	SGR
Sistema de Información Energética	SIE
Sistema de información Eléctrico Colombiano	SIEL
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios	SSPD
Unidad de Planeación Minero Energética	UPME
Filial de ISA especialidad en la Gestión de Sistemas de Tiempo Real	XM

1.10. Leyes y políticas energéticas

En Colombia, la dependencia energética del SIN se enfoca principalmente de las plantas hidroeléctricas del país, tal y como lo confirma las cifras de la Compañía Expertos en Mercados S.A. E.S.P. (XM) la cual estipula que la oferta de las compañías hidroeléctricas es de 11.834,57 MW, lo cual corresponde al 68% de la oferta energética nacional (Montes, 2019). En este sentido fenómenos como el vivido a inicios de la década de los noventa caracterizado por la escasez de agua, ocasionando un racionamiento de energía evidencian el riesgo al abastecimiento energético por

escasez del recurso hídrico, en contramedida, el gobierno ha implementado distintos mecanismos para fomentar e incentivar el uso de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER) dentro de las cuales se encuentra la energía solar FV en la que se enfoca el presente documento. (Rendón, 2020)

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se enlistan en la Tabla 3 un resumen de las normas establecidas para incentivar el crecimiento de la participación de las FNCER existentes. Como se puede ver en esta tabla, es mucha de la normatividad existente relacionada con la temática, sin embargo, es la Ley 1715 la que estipula las políticas para la adopción el amparo de FNCER por lo tanto se convierte en el referente para el desarrollo de las tendencias que se observan hoy en temas de energía renovable, incluida la solar FV. (Rendón, 2020)

Tabla 3. Normativas para incentivar las fncer en el país

Fuente: Autor, a partir (Rendón, 2020) y (SIEL, 2022)

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
Ley 1955 de 2019	Establece que entre un 8 y 10 % de las compras de energía de los comercializadores deben ser de fuentes de energía renovables no convencionales.
Resoluciones 40590 y 40591 de 2019 (MME)	Establece los procedimientos para el desarrollo de subastas de energía renovable no convencional, reemplazando la 40791 de 2018.
Resolución 098 de 2019 (CREG)	Establece las condiciones para la incorporación de sistemas de almacenamiento con baterías en el SIN.
Resoluciones 103 y 104 de 2018 (CREG)	Abre la subasta para la asignación de las Obligaciones de Energía Firme del Cargo por Confiabilidad para el período comprendido entre el 1 de diciembre de 2022 y el 30 de noviembre de 2023.
Resoluciones 40791 y 40795 de 2018 (MME)	Abre la convocatoria para la primera subasta de contratos de largo plazo de energía eléctrica (a 10 años), la cual buscan incentivar la instalación de FNCER.
Resolución 40072 de 2018 (MME)	Implementación de la Infraestructura en Medición Avanzada, AMI por sus siglas en inglés, en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).
Resolución 038 de 2018 (CREG)	Establece las reglas para la actividad de autogeneración en las Zonas No Interconectadas (ZNI).
Resolución 030 de 2018 (CREG)	Regula las actividades de autogeneración a pequeña y gran escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).
Decreto 348 de 2017 (MME)	Estable los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala (0,1MW).
Resolución 227 de 2015 (CREG)	Define la metodología para determinar la energía firme de plantas solares FV.
Resolución 024 de 2015 (CREG)	Regula la actividad de autogeneración a gran escala.
Resolución 281 de 2015 (UPME)	Define el límite máximo de autogeneración a pequeña escala a 1 MW.
Resolución 038 de 2014 (CREG)	Modifica el Código de Medida contenido en el anexo general del Código de Redes.
Decreto 2469 de 2014 (MME)	Establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes autogeneración.

Ley 1715 de 2014	Regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional y se establecen diferentes incentivos. También permite la entrega de excedentes a la red.
Resolución 097 de 2008 (CREG)	Aprueba los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso del Sistemas de Transmisión Regional (STR) y los Sistemas de Distribución Local (SDL).
Ley 1215 de 2008	Define la cogeneración como la producción combinada de energía eléctrica y energía térmica que hace parte integrante de su actividad productiva.
Resolución 060 de 2007(CREG)	Establece normas sobre la participación en la actividad de generación de energía eléctrica.
Ley 697 de 2001	Creó el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) y demás formas de Energías No Convencionales.
Resolución 128 de 1996 (CREG)	Limita la participación accionaria en el capital de una empresa generadora o comercializadora, sobre una empresa distribuidora, y viceversa.
Resolución 085 de 1996 (CREG)	Reglamentan las actividades de cogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN); posteriormente, la Resolución CREG032/01 realiza modificaciones a esta resolución.
Ley 142 de 1994	Define los esquemas generales de regulación que deben cumplir las empresas de servicios públicos y el papel de las Comisiones de Regulación, incluida la libre competencia y eficiencia en la prestación de los servicios.
Ley 143 de 1994	Establece lineamientos para la integración vertical y regula el poder de mercado. Además, prohíbe explícitamente la entrega de excedentes de generación a la red eléctrica para autogeneradores.

Por su parte, como ya se mencionó brevemente la Ley 1715 del 2014 a través del ministerio de minas y energía en conjunto con el regulador del mercado eléctrico, buscan principalmente regular la incorporación de las energías alternativas renovables al sistema energético nacional, convirtiéndose en un método incentivador para los agentes que deseen invertir en la generación energética a pequeña escala. La ley posibilita a todos los usuarios que generen más energía de la que lleguen a consumir, a poder vender sus excedentes a las entidades prestadoras del servicio eléctrico, adicionalmente estimula la inversión en activos de generación a pequeña escala, teniendo en cuenta que los activos que se obtengan para este uso puedan ser remplazados con mayor rapidez que los convencionales y aligerando cargas tributarias para la viabilidad financiera de este tipo de proyectos. Este escenario llama la atención a inversionistas del sector, no dejando de lado que las inversiones que se realicen tendrán un retorno más rápido (López & Gómez, 2021).

También se resalta que esta ley reside en establecer el marco legal y los elementos para la promoción del uso de las fuentes no convencionales de energía, primordialmente aquellas de carácter renovable. Además, fomenta la investigación inversión y desarrollo de tecnologías limpias para la producción de electricidad, así como usos energéticos como el medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (Reyes & Blanco, 2018). En la Figura 1, se presenta la estructura de esta Ley y los decretos y resoluciones expedidos por la CREG y que lo soportan. (UPME, 2020)



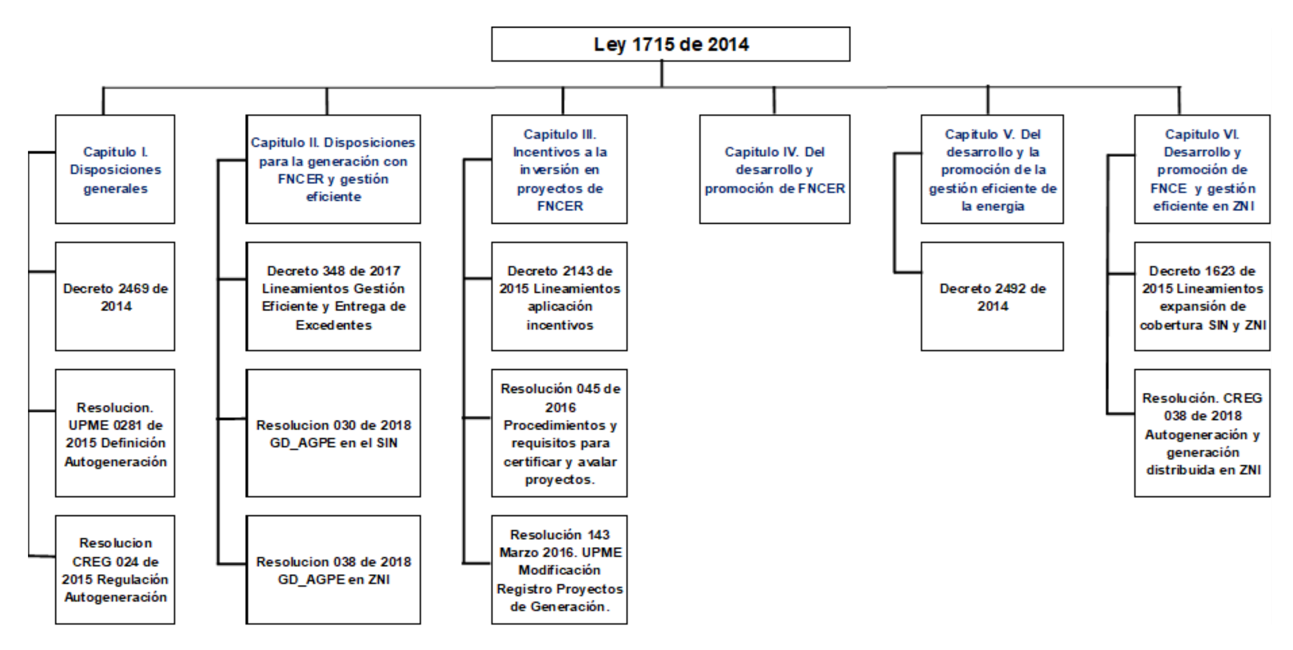


Figura 1. Estructura de la Ley 1715 de 2014

Fuente: Adaptado de (UPME, 2020)

1.10.1. Incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014

Tabla 3: Incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014

Fuente: Adaptado de (UPME, 2019)

BENEFICIO	NORMATIVA	DESCRIPCIÓN GENERAL	REQUISITOS	LÍMITE
Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta.	i) Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014. ii) Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015).	Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. El valor a deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.	Certificación de la UPME, según lo establecido en el Decreto MHCP 829 de 2020. Si la inversión es bajo leasing, debe ser financiero con opción de compra irrevocable.	La deducción no podrá superar el 50% de la renta líquida gravable antes de restar el gasto

Depreciación acelerada.	• Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014. •Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015).	Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.	Hasta un 20% de la tasa anual de depreciación Artículo 196 y 197 del Estatuto Tributario. Procedimiento: Decreto MHCP 829 de 2020.	Hasta un 20% del valor en libro cada año.
Exclusión de bienes y servicios de IVA.	• Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014. •Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo 2.2.3.8.3.1.	Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados.	Equipos y Maquinaria (Resolución UPME 703 de 2018 y Decreto MHCP 829 de2020). La Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo 2018 –2022, art.180) inclusión de módulos solares, inversores y controladore artículo 424 del Estatuto Tributario (exclusión de IVA)	100% del impuesto a pagar.
Exención de gravámenes arancelarios.	Ley 1715 art. 13, Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1.	Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión de proyectos con FNCE.	Productos extranjeros que solo puedan adquirirse mediante importación. Procedimiento: Decreto MHCP 829 de 2020.	100% de los Derechos arancelarios

Como puede apreciarse en la tabla 3, Los incentivos para la implementación de FNCER son de tipo indirecto, como la reducción al impuesto de renta (50 % del valor total realizado en la inversión), exención de IVA y aranceles (en el CAPEX de los proyectos) y depreciación acelerada de activos. Adicional a esto, se implementó la creación del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), con el que se busca financiar, impulsar y promocionar las soluciones de autogeneración y la mejora en la eficiencia energética.

Resultados y discusión

Partiendo de la necesidad energética para las comunidades y grupos aislados que se encuentran por fuera de la red nacional, siendo esta una dificultad compleja por resolver debido que, en su mayoría, estas comunidades se localizan en zonas que carecen de un adecuado y fácil acceso vial. Por ello se dificulta la incorporación en cuanto la construcción de las líneas del suministro de energía eléctrica, es así que se propone la implementación de fuentes no convencionales o bien sean energías renovables generadoras de

electricidad para mencionadas comunidades representado de esta manera, una fuente de abastecimiento continuo de energía eléctrica.

En este sentido, los sistemas solares fotovoltaicos representan una excelente solución frente al déficit energético existente en las ZNI del país o para cualquier comunidad que se encuentre aislada del SIN, gracias a que dichos sistemas se construyen a partir de la agrupación de múltiples paneles solares lo que permite a este tipo de generación de energía adaptarse a cualquier demanda solicitada en proyectos de pequeña, mediana o gran escala. Sin embargo, se debe aclarar que es necesario realizar una adecuada selección de los paneles solares debido a que estos afectan directamente tanto la generación de energía eléctrica como el retorno de la inversión realizada. Por lo tanto, es preciso realizar un análisis detallado de la tecnología a usar dependiendo de la ubicación geográfica y el costo de la misma, basado en la potencia requerida ya que, puede resultar un sistema FV muy económico, pero demasiado deficiente o viceversa.

Por otra parte, los beneficios ambientales, económicos y sociales que los sistemas solares fotovoltaicos presentan son muchos, debido a que son amigables con el medio ambiente reduciendo la huella de carbón, representando a su vez, una contribución a una vida saludable. Además, teniendo en cuenta que en Colombia la Ley 1715 de 2014 promueve la utilización de estos tipos de energías no convencionales estipulando una serie de incentivos y beneficios en proyectos donde se implementan estas tecnologías; lo que representa una disminución en los pagos ocasionados por conceptos de IVA, aranceles e impuestos de renta permitiendo de cierta manera una reducción en los costos para los sistemas FV que se ejecuten en las comunidades aisladas.

En definitiva, Colombia cuenta con una ubicación geográfica favorable con respecto a los altos rangos y valores correspondientes a la cantidad de radiación recibida en todo el territorio, permitiendo que las ZNI y comunidades aisladas dispongan de potencias óptimas que oscilan entre los 3,5 a 6 kWh/m2 anual diario, manteniéndose los mismos por varias horas en el día, llegando en ciertas regiones hasta las 10 horas de luz solar útil. Cabe resaltar que las regiones que cuentan con mayor potencial en la nación son las Regiones Caribe, Insular, Orinoquía y Andina en las cuales resultan ser técnica y económicamente más viables que las regiones Pacífica y Amazónica por presentar un menor potencial solar. Sin embargo, en estas últimas regiones se pueden implementar soluciones fotovoltaicas optimizando el ángulo de inclinación del panel solar o mediante un sistema de seguimiento solar para proyectos de gran escala.

Por último, los sistemas solares fotovoltaicos deben ser implementados como solución energética con mayor frecuencia en las distintas zonas que se encuentren aisladas del sistema interconectado nacional a pequeña, mediana y gran escala; pudiendo minimizar a su vez la saturación de las redes de transporte energético. De igual manera, se lograría una disminución en la dependencia de fuentes energéticas proveniente tanto de los combustibles fósiles como de las centrales hidroeléctricas, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación ambiental. Todo esto encarrilado al beneficio de todas aquellas personas que aún carecen de un servicio básico de energía eléctrica, el cual cuente con calidad social y ambiental siendo también eficaz, eficiente y económicamente sostenible en un lapso de tiempo considerado.

Literatura citada

Ley 1715 de 2014. (2014). *EL CONGRESO DE COLOMBIA.* Obtenido de Energías Renovables No Convencionales: https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22602-11506.pdf

Alberto, P. C., Cesar, C. Á., & Mariana, M. C. (Agosto de 2020). *Boletines Poblacionales: Población Rrom.* Obtenido de Boletines Poblacionales: Población Rrom: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minsalud.gov.co%2Fsites%2Frid%2FLists%2FBibliotecaDigital%2FRIDE%2FDE%2FPS%2Fboletines-poblacionales-poblacion-rrom.pdf&clen=899593

Asprilla, D. B. (2016). *Estudio de Sistemas Híbridos De Energía Renovable (solar – gasificación de biomasa) como alternativa para satisfacer necesidades energéticas en Zonas no Interconectadas del Departamento del Chocó*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59125/1077199202.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ATERSA. (2019). *Tipo de Celda Fotovoltaica.* Obtenido de Materiales para la contrucion de las Celdas : https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/

Atlas Climatológico de Colombia. (Mayo de 2018). *ATLAS CLIMATOLÓGICO.* Obtenido de UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA: http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html

AutoSolar. (12 de 16 de 2020). *Efecto Fotovoltaico.* Obtenido de Energy Solutions SLU: https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/efecto-fotovoltaico

Avila, S. S. (Agosto de 2017). *Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá .* Obtenido de Revista Científica: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Fcient%2Fn30%2F2344-8350-cient-30-00263.pdf&clen=554622&chunk=true

BID. (2016). *Banco Interamericano de Desarrollo (BID).* Obtenido de Consultoría para apoyo en Asociaciones Público Privadas -APP- para Zonas No Interconectadas en Colombia: https://www.iadb.org/es/acerca-del-bid/financiamiento-del-bid/financiamiento-del-bid%2C6028.html

Bieler, L. (4 de Diciembre de 2021). *La inflación en Colombia se ubica en el 0,50 % en noviembre.* Obtenido de https://www.swissinfo.ch/spa/colombia-inflaci%C3%B3n_la-inflaci%C3%B3n-en-colombia-se-ubica-en-el-0-50---en-noviembre/47166392#:~:text=Entre%20tanto%2C%20en%20los%20%C3%BAltimos,en%20el%201%2C49%20%25.

Bombas y montajes S.A.S. (9 de Septiembre de 2020). *EL AUGE MUNDIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.* Obtenido de Colombia y las energías renovables: https://bombasymontajes.com/el-auge-mundial-de-las-energias-renovables/

CAMARGO, S. D. (Diciembre de 2020). *Estudio de viabilidad de la instalacion de una microred de energia de pequeña escala para una poblacion rural en la guajira.* Obtenido de Universidad de los Andes : chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.uniandes.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F1992%2F51553%2F23843.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy

Cesar, C. Á., Mariana, M. C., & Alberto, P. C. (2020). *Boletines Poblacionales: Población Indígena.* Obtenido de Oficina de Promoción Social: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minsalud.gov.co%2Fsites%2Frid%2FLists%2FBibliotecaDigital%2FRIDE%2FDE%2FPS%2Fboletines-poblacionales-poblacion-indigena.pdf&clen=1042351

Cevallos, W. B., Llangarí, D. F., Ruiz, L. E., & Juiña, B. A. (10 de 01 de 2019). *La energía fotovoltaica.* Obtenido de Revista contribuciones a la Economía (enero-marzo 2019).: https://eumed.net/ce/2019/1/energia-fotovoltaica.html

DANE. (2016). *Familias que carecen de Energia Electrica.* Obtenido de Gobierno de Colombia: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/nacimientos-y-defunciones/defunciones-no-fetales/defunciones-no-fetales-2006/defunciones-2006

DANE. (2018). *Estadisticas y Grupos Étnicos*. Obtenido de Gobierno de Colombia: https://www.dane.gov.co/index.php/en/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/grupos-etnicos/estadisticas-y-grupos-etnicos

DANE. (Agosto de 2020). *Boletines Poblacionales*. Obtenido de Población Indígena: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/boletines-poblacionales-poblacion-indigena.pdf

Daniella, R., & Leonardo, R. (Septiembre de 2018). *Energía fotovoltaica en Colombia: estado actual, inventario, políticas y perspectivas futuras.* Obtenido de Revisiones de energía renovable y sostenible: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118302995

El Espectador. (Julio de 2017). *Panorama de las energías renovables en Colombia.* Obtenido de EL PANORAMA EN COLOMBIA: https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Energia-Electrica/Noticias/2017/Julio-2017/Panorama-de-las-energias-renovables-en-Colombia

Energía solar. (29 de Noviembre de 2017). *Una megaplanta de energía solar de 750 megavatios contribuirá a alimentar la red ferroviaria metropolitana de Delhi (India).* Obtenido de Banco Mundial: https://www.bancomundial.org/es/results/2017/11/29/solar

ESMAP. (2017). *ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANCE PROGRAM.* Obtenido de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía : https://globalabc.org/members/our-members/world-bank-energy-sector-management-assistance-program-esmap

Estrada, T. G., & Valencia, J. A. (2015). *Integracion Energia Renovables.* Obtenido de MME y UPME.

FISE. (2 de Mayo de 2019). *Colombia y su gran potencial para la energía solar*. Obtenido de https://fise.co/noticias/colombia-y-su-gran-potencial-para-la-energia-solar/#:~:text=El%20promedio%20es%20de%204.5,solar%20fotovoltaica%20a%20nivel%20mundial4.

Fuentes, D. F. (2020). *Incidencia de las energías renovables no convencionales en la generación de energía eléctrica en Colombia sobre el nivel de cumplimiento del ODS 7 mediante un análisis de escenarios.* Obtenido de UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepository.unab.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12749%2F12173%2F2020_Tesis_Daniel_Felipe_Ni%25c3%25b1o_Fuentes.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=295224

Gomez, N. E. (2017). *ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS A PARTIR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES SOLAR Y EÓLICA.* Obtenido de https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/6078/tesis121.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez, R. J., Murcia, M. J., & Rojas, I. C. (27 de 10 de 2018). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas.* Obtenido de Universidad Santo Tomás: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepository.usta.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F11634%2F10312%2FG%25C3%25B3mez2018.pdf&clen=1191717&chunk=true

González, J. F., Leonardo, A., Sepúlveda, & Aponte, K. T. (Febrero de 2014). *Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva.* Obtenido de Econografos Escuela de Economía: http://www.fce.unal.edu.co/centro-editorial/documentos/econografos-escuela-economia/1742-65-zonas-no-interconectadas-electricamente-en-colombia-problemas-y-perspectiva.html

Green Rhino Energy. (2016). *Irradiación global media.* Obtenido de National Renewable Energy Lab - Spectrum Definition for information, data and resources for solar: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Distribucion-global-de-la-Irradiacion-Global-Horizontal.pdf

HelioEsfera. (2017). *Instalacion fotovoltaica aislada.* Obtenido de Instalación fotovoltaica aislada : https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/

HG Ingenieria. (Agosto de 2018). *¿Sabes que son las ZNI y cuáles son sus características?* Obtenido de ZIN (Zonas No Interconectadas): https://hgingenieria.com.co/sabes-que-son-las-zni-y-cuales-son-sus-caracteristicas/#:~:text=Las%20ZNI%20est%C3%A1n%20conformadas%20por,organizados%20en%2014%20grupos%20territoriales.

Hoz, F. D. (27 de Junio de 2021). *Inauguran planta de energía solar en la Alta Guajira*. Obtenido de Periodico: LA GUAJIRA | EL HERALDO: https://www.elheraldo.co/la-guajira/inauguran-planta-de-energia-en-la-alta-guajira-828977

IDEAM. (2018). *ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR, ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA.* Obtenido de Evalucaion de la Radiacion Solar en Colombia: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fatlas.ideam.gov.co%2Fbasefiles%2FEvaluacion-de-la-Irradiacion-Global-Horizontal-en-Colombia.pdf&clen=7374310&chunk=true

IPSE . (Julio de 2017). *INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZNI.* Obtenido de INFORME RENDICIÓN SOCIAL DE CUENTAS 2017 : chrome-



extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fipse.gov.co%2Fdocumento_planeacion%2Fdocumento%2Frendicion_de_cuentas%2F2017%2FInforme%2520de%2520Gesti%25C3%25B3n%25202017%2520-%2520FinalWeb.pdf&clen=7738675&chunk=true

IPSE. (Julio de 2014). *SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA.* Obtenido de Instituto de Planeacion y Promocion de Soluciones Energeticas para las Zonas No Interconectadas : https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/742159/09C-SolucionesEnergeticasZNI-IPSE.pdf/2871b35d-eaf7-4787-b778-ee73b18dbc0e

JAB. (13 de Agosto de 2018). *HISTORIA DE LAS CÉLULAS SOLARES Y SU EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA*. Obtenido de https://www.grupojab.es/historia-de-las-celulas-solares-y-su-evolucion-tecnologica/

Jean, W., & Junior, A. C. (1 de Junio de 2020). *SIMULACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA COMUNIDAD EN HAITÍ.* Obtenido de http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/123/144

La energia que nos une. (2020). *Sitiossolares.com.* Obtenido de Descubrimiento del efecto fotovoltaico: https://cecu.es/laenergiaquenosune/index.php/energia-solar-fotovoltaica

LEY 143 DE 1994. (12 de Julio de 1994). *EL CONGRESO DE COLOMBIA.* Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf

LEY 855 DE 2003. (2003). *EL CONGRESO DE COLOMBIA.* Obtenido de https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1669722

LEY 855 DE 2003. (s.f.). *EL CONGRESO DE COLOMBIA.* Obtenido de https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1669722

López, J., & Gómez, T. (16 de Febrero de 2021). *Estimación del costo de distribución de la energía eléctrica en Colombia considerando generación distribuida fotovoltaica.* Obtenido de Información Tecnológica – Vol. 32 Nº 1 – 2021: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fscielo.conicyt.cl%2Fpdf%2Finfotec%2Fv32n1%2F0718-0764-infotec-32-01-79.pdf&clen=295810&chunk=true

Mariana, M. C., Alberto, P. C., & Cesar, C. Á. (2020). *Boletines Poblacionales: Población NARP.* Obtenido de Oficina de Promoción Social Ministerio de Salud y Protección Social: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minsalud.gov.co%2Fsites%2Frid%2FLists%2FBibliotecaDigital%2FRIDE%2FDE%2FPS%2Fboletines-poblacionales-narp.pdf&clen=747881

Ministerio de minas y energía. (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minenergia.gov.co%2Fen%2Flibro-transicion-energetica%23%3A~%3Atext%3DEn%25202021%252C%2520llegaremos%2520a%2520cerca%2Crenovables%2520en%2520la%2520matriz%2520el%25C3



Minsalud. (2022). *Grupos étnicos.* Obtenido de ¿Quiénes son los grupos étnicos?: https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/promocion-social/Paginas/grupos-etnicos.aspx

Montes, S. (19 de Febrero de 2019). *La Republica. (LR).* Obtenido de Las plantas hidroeléctricas representan 68% de la oferta energética en Colombia: https://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/las-plantas-hidroelectricas-representan-68-de-la-oferta-energetica-en-colombia-2829562

Oña, C. P., & Lugma, I. S. (Septiembre de 2020). *SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AISLADO PARA ZONAS RURALES DEL ECUADOR.* Obtenido de ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15000%2F21213%2F1%2FCD%252010735.pdf&clen=4191688

Paternina, M. A., Villalba, L. C., Nuñez, J. L., & López, R. A. (2012). Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. *PROSPECTIVA, vol. 10, núm. 1*, 97-107.

Planas, O. (10 de Abril de 2020). *Energía Solar.* Obtenido de Potencia pico de un módulo fotovoltaico: https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/potencia-pico

RAP-E. (2020). *ESTADO DE LA COBERTURA ELÉCTRICA Y LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS EN LA REGIÓN CENTRAL.* Bogotá: Cemillero de Investigación Barión. Obtenido de Regional Central: https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/ESTADO-DE-LA-COBERTURA-ELECTRICA-Y-LAS-ZONAS-NO-INTERCONECTADAS-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL-3-1.pdf

Region central. (2020). *ESTADO DE LA COBERTURA ELÉCTRICA Y LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS EN LA REGIÓN CENTRAL.* Obtenido de Regional Central: https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/ESTADO-DE-LA-COBERTURA-ELECTRICA-Y-LAS-ZONAS-NO-INTERCONECTADAS-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL-3-1.pdf

Rendón, M. C. (9 de 07 de 2020). *Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. Lecturas De Economía, (93), 23–64.* Obtenido de https://revistas.udea.edu.co/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/338727/20803066

Reyes, Y. S., & Blanco, H. G. (15 de Septiembre de 2018). *Diseño técnico y económico de un banco de prueba solarfotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada.* Obtenido de Grupo de Investigación en Gestión Eficiente de la Energía Kaí, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia: http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/1653/1046

Rodríguez, H. (2019). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería, núm. 28*, pp. 83-89.

Rsolar. (18 de Mayo de 2020). *Sistema fotovoltaico aislado.* Obtenido de Esquema de un sistema fotovoltaico aislado: https://rsolar.com.mx/sistema-fotovoltaico-conectado-a-la-red-de-cfe/

Ruiz, C. E. (2020). *Arreglos fotovoltaicos inteligentes con modelo LFSR-reconfigurableIntelligent Photovoltaic Arrays with LFSR-Reconfigurable Model.* Obtenido de INGENIERÍA: Revista de la

Universidad de Costa Rica Julio/Diciembre 2020 - Volumen 30 (2): https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/39484/42065

Ruiz, E. (27 de 09 de 2021). *¿Cuántos años seguirán funcionando mis paneles solares y el inversor?* Obtenido de Solarplus.es: https://solarplus.es/vida-util-de-paneles-solares

Sandoval, R. (2019). *Modelo VHDL de Control Neuronal sobre tecnología FPGA orientado a Aplicaciones Sostenible, Revista Chilena de ingeniería. Ingeniare, 27(3). 383-395*. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6841589

Serna, J. (2014). *DISTRIBUCIÓN DEL BRILLO SOLAR MEDIO DIARIO ANUAL.* Obtenido de Grupo de Climatología y Agrometeorología Subdirección de Meteorología - IDEAM: http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

SIEL. (20 de Enero de 2022). *"Fondos de Apoyo Financiero para Los Sectores de Energía Eléctrica.".* Obtenido de http://www.siel.gov.co/Inicio/Fondos/DefinicionyProcedimiento/tabid/148/Default.aspx

SOLICLIMA. (2019). *Fotovoltaica aislada.* Obtenido de https://www.soliclima.es/fotovoltaica-aislada

Sumando Energia. (2019). *Redes sistema interconectado nacional.* Obtenido de XM Sumando Energia: https://www.xm.com.co/Paginas/Transmision/redes-sistema-interconectado-nacional.aspx

Unidad de Planeación Minero Energética. (20 de Abril de 2016). *PLANES DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE -PERS.* Obtenido de herramienta de información para el desarrollo rura: http://www.upme.gov.co/zni/documentos/resultados_pers.pdf

UPME. (06 de Septiembre de 2019). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww1.upme.gov.co%2FDocuments%2FCartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf&clen=1246887

UPME. (2020). *LEY No 1715 - 12 MAY 2014.* Obtenido de http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2020.pdf

Velazco, D. F., & Rojas, M. A. (2021). *Diseño de sistema fotovoltaico para la alimentación de la Diseño de sistema fotovoltaico para la alimentación de la instalación eléctrica y el sistema de bombeo de agua de una vivienda en zona rural.* Obtenido de Universidad de La Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/613/

Venneri, F., & Borgia, A. C. (2019). *A Dual-Band Compact Metamaterial Absorber with Fractal Geometry.* Obtenido de Electronics, 8(8), 879: https://www.mdpi.com/2079-9292/8/8/879

Vivas, J. (2017). Zonas no interconectadas por departamento. *EL TIEMPO*, págs. https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892. Obtenido de https://www.datawrapper.de/_/TosmL/

Zamora, V. G. (2020). *DIFERENCIAS ENTRE EL SISTEMA ON GRID Y SISTEMA OFF GRID PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA*. Obtenido de Artículo Técnico Ancón, Lima - Perú: http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/12/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_compressed-2-1.pdf